

脱塩工法ならびに 再アルカリ化工法の新しい施工方法の開発 給水養生工法「アクアカーテン」の用途を拡大

齋藤 淳

電気化学的補修に分類される脱塩工法ならびに再アルカリ化工法は、鉄筋コンクリート構造物に対する予防保全、機能回復技術である。これらの工法を陸上鉄筋コンクリート構造物に適用する際には、コンクリート表面への電解質溶液の供給が課題となる。この課題の解決のために、コンクリート鉛直面やトンネル覆工コンクリートに対する給水養生工法「アクアカーテン」（以下「本給水養生工法」という）で使用している給水養生装置の活用を検討した結果、電解質溶液の簡易な供給方法を確立することができた。

キーワード：塩害、中性化、電気化学補修、電解質溶液、長寿命化、給水養生装置

1. はじめに

脱塩工法ならびに再アルカリ化工法は、鉄筋コンクリート構造物に対する予防保全、機能回復技術である。この2つの工法は、電気化学的補修に分類されるが、一定期間通電を行えばその後の継続通電は不要であり、補修前後で構造物の外観変化が少ないことから、一般構造物に加え歴史的構造物の補修にも適している工法である。しかしながら、陸上鉄筋コンクリート構造物に適用する場合、コンクリート表面への電解質溶液（外部溶液）の供給が課題となる。一般的に「パネル方式」あるいは「ファイバー方式」により電解質溶液の供給が行われている¹⁾。

近年、著者らは、コンクリート鉛直面やトンネル覆工コンクリートに対する本給水養生工法を実用化した²⁾。本工法の最大の特長は、入手や取り扱いが容易で軽量の資機材からなる給水養生装置を用いて、コンクリート表面に水膜を形成できることである。

本報文では、給水養生装置を活用した電解質溶液の簡易な供給方法を脱塩工法ならびに再アルカリ化工法の新しい施工方法（給水方式）として紹介する。

2. 脱塩工法、再アルカリ化工法の概要

(1) 脱塩工法の概要

脱塩工法は、塩害を受けた鉄筋コンクリート構造物の補修方法のひとつである。原理を図-1に示す¹⁾。コンクリート表面に仮設した電極を陽極とし、コンクリート内部の鉄筋を陰極とする。仮設陽極材とコンク

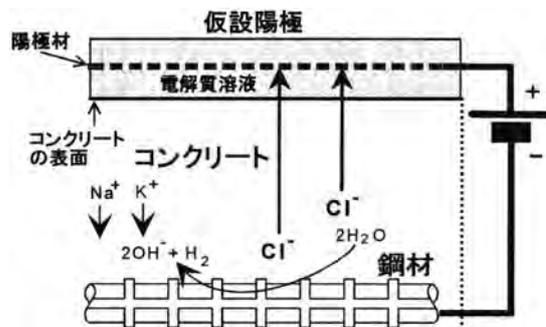
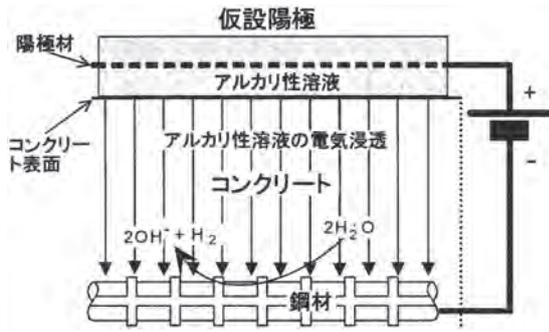


図-1 脱塩法の原理図¹⁾

リート表面の間に電解質溶液を供給し、陽極と陰極間に直流電流を通電する。電気泳動の原理により、陰イオンである塩化物イオンは、コンクリート中から電解質溶液中へ移動する。これにより、コンクリート中の塩化物イオン濃度が低減するため、鉄筋コンクリートの防食性能が回復する。なお、一般的な通電期間は8週間であり、通電終了後には全ての仮設材料を撤去するため、補修前後の外観変化が少ない工法である。

(2) 再アルカリ化工法の概要

再アルカリ化工法は、中性化を受けた鉄筋コンクリート構造物の補修方法のひとつである。原理を図-2に示す¹⁾。脱塩工法の場合と同様に、コンクリート表面に陽極材を仮設し、コンクリート内部鉄筋を陰極として一定期間（一般に2週間）のみ直流電流を通電する。この際、電解質溶液として用いるアルカリ性の溶液をコンクリート中へ電気浸透させることで、中性化しているコンクリートのアルカリ性を回復する工法である。



図一2 再アルカリ化工法の原理図¹⁾

再アルカリ化工法の最大のメリットは、コンクリート中に電気浸透させたアルカリ性溶液が、大気中の二酸化炭素と平衡状態となり(式(1)参照)、コンクリートのpH値=約11を保ち続けることができること、すなわち、中性化に対する抵抗性を長期間保持できることである。

(炭酸カリウムを電解質溶液とした場合の安定式)



3. 新しい施工方法(給水方式)の概要

脱塩工法ならびに再アルカリ化工法の給水養生装置を活用した新しい施工方法、すなわち、給水方式の仕組みを図一3に示す。

コンクリート表面に不織布と仮設陽極材を設置し、それらを気泡緩衝シートで覆い、端部を密閉する。上部に配置した給水管から電解質溶液を供給し、下部に配置した吸引口に接続した吸引機を稼働させると、電解質溶液は不織布を伝わってコンクリート表面を流れ、シートとコンクリートとの間にある空気とともに吸引口から排出される。これにより、シート全体が大気圧でコンクリート表面に押し付けられ、シートや仮

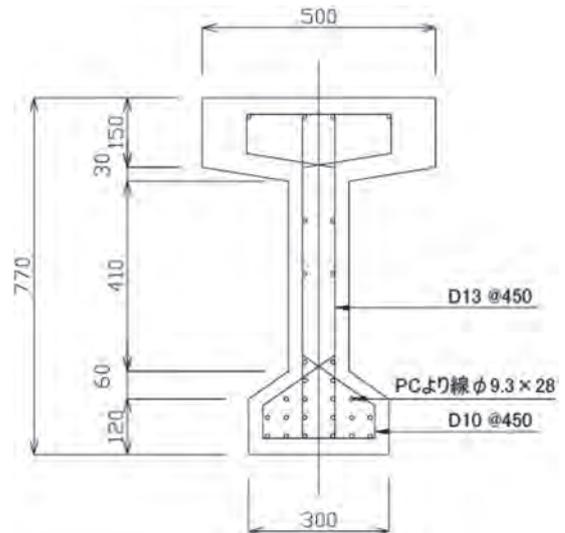
設陽極材の落下を防ぐとともに、コンクリート表面が電解質溶液の均一な水膜で覆われる。なお、吸引口と吸引機の間には除水除塵機を設け、空気と電解質溶液を分離することで、吸引機の負荷を低減するとともに電解質溶液の循環利用を実現している。そして、直流電源装置のプラス側に仮設陽極材を、マイナス側にコンクリート中の内部鉄筋を、それぞれ接続して所定期間の通電を行う。

4. 脱塩工法の給水方式による施工実験

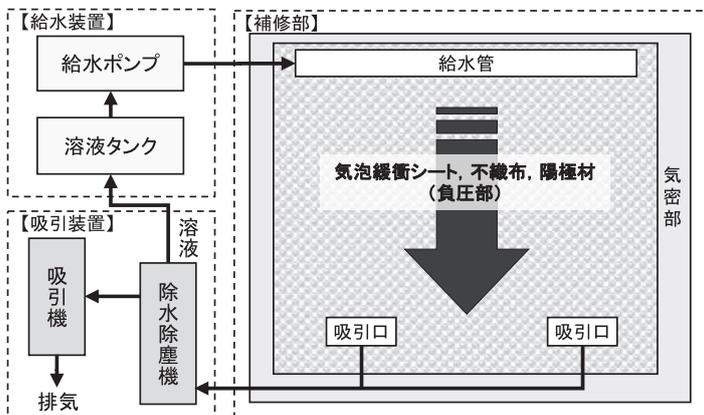
(1) 外来塩分に起因した塩害に対する補修効果

(a) 構造物の概要

本実験の対象構造物は、1972年に開通し1997年に撤去された道路橋であり、塩害環境にて25年間供用されたI型PC桁である。桁の断面形状を図一4に示す。なお、鉄筋の芯かぶりりは約50mmであり、桁の全長はおよそ13mであった。

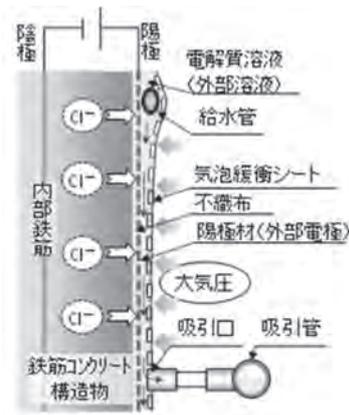


図一4 I型PC桁の断面形状



装置の構成図

図一3 給水方式の仕組み



補修部の断面図(脱塩工法の例)

(b) 補修前の劣化状況

シュミットハンマーによる圧縮強度の推定および塩化物イオン濃度の測定を行った。圧縮強度の推定値は46.7～48.1 N/mm²であり高い強度を保持していた。一方、かぶり部の塩化物イオン濃度は4.5～7.0 kg/m³であり、塩害による劣化作用を受けていることが確認された。

(c) 施工実験の概要

施工実験の条件を表一1に、実験状況を写真一1に示す。

表一1 施工実験の条件

陽極材	電流密度	通電期間	電解質溶液
チタンメッシュ	1.0 A/m ²	8週間	ホウ酸・炭酸カリウムの混合水溶液



写真一1 I型PC桁に対する施工実験状況

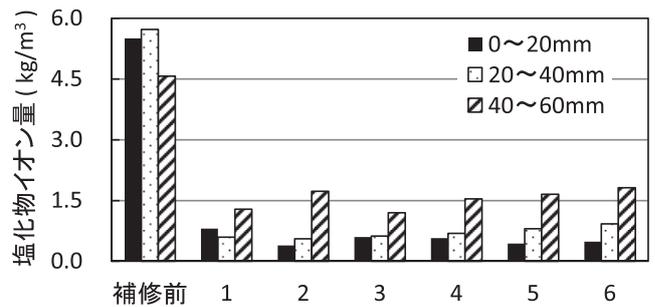
(d) 施工実験の結果

8週間の通電終了後に、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して塩化物イオン濃度を測定した。試料は施工区間を等分割した6ヶ所において、ドリル削孔により深さ方向に60 mmまで20 mm間隔で採取した削孔粉とした。測定結果を図一5に示す。いずれの位置においても、かぶり部の塩化物イオンを1 kg/m³未滿まで除去できていることから、給水方式による施工で、十分な脱塩効果が得られることが確認できた。

(2) 内在塩分に起因した塩害に対する補修効果

(a) 施工実験の概要

本施工実験には、実際のI型桁の下側半分を模擬した長さ3 mの実大供試体を用いた。供試体の作製に



図一5 塩化物イオン濃度の測定結果 (外来塩分)

は、表一2に示すように塩化ナトリウムを8 kg/m³(塩化物イオン換算で4.8 kg/m³)混入したコンクリートを用いた。なお、鉄筋の芯かぶりは50 mmとし、通電条件は前節の施工実験と同様(表一1参照)とした。

(b) 施工実験の状況

実験状況を写真一2に示す。電解質溶液の管理は以下のように実施した。電解質溶液の水槽容量は45 Lとし、供試体への溶液供給量は1 L/minとした。24時間の運転で水槽の溶液量が約10 L減少した。カリウムイオン濃度をイオンクロマトグラフで測定した結果、溶液量減少後の濃度は当初よりも濃くなっていた。通電を行うと、溶液中のカリウムイオンはコンクリート中へ移動するので、溶液中のカリウムイオン濃度は薄くなるはずであることを考慮すると、溶液量減少の主要因は蒸発であると考えられた。そこで、pH値が当初の10.5から1程度低下するまで、すなわちpH値=9.5までは水道水を補充し、それ以下となった時点で新しい溶液と交換することとした。

(c) 施工実験の結果

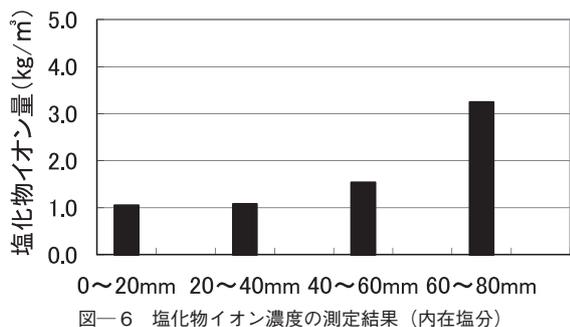
塩化物イオン濃度の測定結果を図一6に示す。通電前の塩化物イオン濃度約4.8 kg/m³に対し、通電後のかぶり部における塩化物イオン濃度は、1.1 kg/m³



写真一2 模擬I型桁に対する施工実験状況

表一2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	SL (cm)	AIR (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	普通セメント	細骨材	粗骨材	NaCl
50.0	46.0	8.0	4.5	157	314	831	1022	8



以下まで低減しており良好な脱塩効果が得られた。

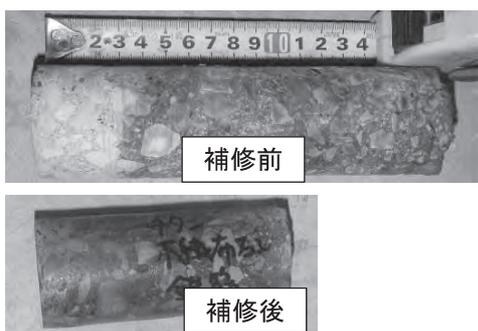
5. 再アルカリ化工法の給水方式による施工事例

(1) 施工概要

施工した構造物は、供用年数 27 年の建物であった。屋内壁面の高さ 1.7 m、長さ 18.5 m の範囲に対して、再アルカリ化工法を給水方式にて施工した。陽極材はチタンメッシュとし、電解質溶液には炭酸カリウム水溶液を用いて、電流密度 1.0 A/m² で 2 週間の通電を行った。

(2) 補修前の劣化状況

劣化状況は中性化深さで評価した。φ 50 のコア供試体を採取し、コア側面に付着したのろを水洗いにて除去したのち、フェノールフタレイン溶液を噴霧した。赤紫色の呈色状況を写真一三に示す。補修前の中性化深さは平均 28 mm、最大 30 mm であった。



写真一三 補修前後の中性化深さ

(3) 施工結果

施工状況を写真一四に示す。給水方式の施工すなわち給水養生装置の設置や撤去に特殊な技能は必要ないことから、一般作業員 4 名で、設置作業は 2 日、撤去作業は 1 日で実施できた。電解質溶液は、3 日に 1



写真一四 建築物の屋内壁面に対する施工状況

回の頻度で溶液水槽に補充した。作業時間は 1 回あたり約 30 分であった。シートの脱落や漏水等の不具合もなく、2 週間の連続通電が実施できた。補修後の中性化深さは 0 mm であり (写真一三参照)、十分な補修効果が得られた。

6. おわりに

脱塩工法ならびに再アルカリ化工法の新しい施工方法として、給水養生装置を活用した電解質溶液の簡易な供給方法、すなわち、給水方式を開発した。給水方式の活用により、優れた補修技術である脱塩工法ならびに再アルカリ化工法の実工事への適用を促進し、社会資本の長寿命化に貢献していきたい。

謝辞

本給水方式は、東京工業大学の大即信明名誉教授、京都大学の西田孝弘特定准教授(元東京工業大学助教)のご指導の下で開発しました。また、施工技術総合研究所様、高速道路総合技術研究所様、デンカ様には多大なるご協力を戴きました。ここに記して感謝の意を表します。

JICMA

《参考文献》

- 1) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針 (案)、コンクリートライブラリー No.107, 2001.
- 2) 古川幸則・庄野昭・齋藤淳：型枠取りはずし後のコンクリート浸水養生工法 (アクアカーテン) の開発—鉛直壁面やトンネル覆工での給水養生—, 土木学会建設技術発表会 2011, pp.17-24, 2011.

【筆者紹介】
齋藤 淳 (さいとう あつし)
 (株)安藤・間
 技術研究所 土木研究部
 主任研究員

